MP-25

RED DE MONITOREO CLIMÁTICO PARA DAR APOYO A LA PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE DESASTRES EN MANIZALES, COLOMBIA.

Jorge Julián Vélez-Upegui[1], Néstor Darío Duque-Méndez[2], Fernando Mejía-Fernández[3] y Mauricio Orozco-Alzate[4]

RESUMEN

La ciudad de Manizales (Colombia), como otras regiones en diferentes latitudes, se encuentra expuesta a múltiples riesgos y especialmente a deslizamientos en épocas lluviosas, las cuales normalmente, en nuestro caso, son dos al año debido a la influencia de la Zona de Confluencia Intertropical ZCIT. Disponer de una red monitoreo de variables climáticas en tiempo real, y en especial de la lluvia, permite a los tomadores de decisiones emitir las alertas en la ciudad, por lo que ha sido posible reducir el impacto sobre las poblaciones más vulnerables que se ven afectadas por los deslizamientos. Se ha encontrado para la ciudad de Manizales que un factor detonante de deslizamientos profundos es la saturación del suelo debido a la acumulación de lluvia durante los 25 días (A25) previos, de esta forma se ha implementado una red de monitoreo que actualiza cada 5 minutos los valores de lluvia antecedente A25 y, en cuanto se llega a un valor umbral en cualquier parte de la ciudad, se envía un mensaje a la Oficina Municipal de Prevención y Atención de Desastres OMPAD , que se encarga de emitir las alertas siguiendo la estrategia del semáforo. Los resultados indican que la red de monitoreo suministra información climática que sirve a los tomadores de decisiones para la prevención de desastres mediante la emisión de alertas. El análisis lluvia-deslizamientos se convierte en una herramienta de prevención, donde los deslizamientos superficiales normalmente ocasionados por lluvias intensas también pueden ser incluidos en la estrategia del semáforo, una vez se identifiquen los umbrales de lluvia que los detonan. Es así como el trabajo presentado recoge esta experiencia, tanto desde el punto de la red de monitoreo instalada como desde el cálculo de los valores de A25 y las alertas emitidas.

PALABRAS CLAVE: Red de Monitoreo, Atención y Prevención de Desastres, Deslizamientos, Precipitación.

[1] Universidad Nacional de Colombia - Sede Manizales, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, IDEA, Colombia, jjvelezu@unal.edu.co

[2] Universidad Nacional de Colombia - Sede Manizales, Departamento de Informática y Computación, Colombia, ndduqueme@unal.edu.co

[3] Universidad Nacional de Colombia - Sede Manizales, Instituto de Estudios Ambientales IDEA, Colombia, fmejiaf@unal.edu.co

[4] Universidad Nacional de Colombia - Sede Manizales, Departamento de Informática y Computación Colombia, morozcoa@unal.edu.co

ABSTRACT

The city of Manizales in Colombia as other regions at different latitudes is exposed to multiple risks, especially landslides triggered during rainy seasons. In our case there are two rainy seasons per year due to the influence of the Intertropical Convergence Zone (ITCZ). The city has implemented recently a climatic network in charge of monitoring climatological variables in real-time. The rainfall is the variable which allows to decision makers to issue alerts in the city. In this way, it has been possible to reduce the impact on vulnerable populations affected by landslides. It has been found for the city of Manizales saturated soils due to the accumulated rainfall during the last 25 days (A25), which is the estimated depth that triggers landslides in Manizales. The monitoring network has been implemented in order to assess the susceptibility associated to landslides due to cumulative precipitation registered during the past 25 days, A25. According to proposed threshold values of A25 in the city a message is sent to the Prevention Disaster and Relief Office, who are responsible for issuing warnings following f the semaphore strategy. The results indicate that monitoring climate network provides information to decision makers in order to issue warnings to prevent landslides disasters. The rainfall-landslide analysis becomes a relevant prevention tool, where usually shallow landslides caused by heavy rains may also be included in the semaphore strategy, once identified rainfall thresholds that triggered landslides. Thus, this paper reflects this experience, both from the point of the monitoring network installed and from the calculation of the values of A25 and warnings issued.

KEYWORDS: Network Monitoring, Warning and Disaster Prevention, Landslides, Rainfall.

INTRODUCCIÓN

Manizales es una ciudad andina ubicada en el centro-oeste de Colombia, cuya ubicación espacial coincide con una de las zonas más amenazadas del país, en donde se tiene en términos generales un alto nivel de riesgo ocasionado principalmente por terremotos, erupciones volcánicas, deslizamientos de tierra, avalanchas e inundaciones. Estos últimos fenómenos naturales usualmente detonados por fuertes lluvias (Carreño et al., 2007).

La ciudad presenta tasas de precipitación muy significativas (en promedio, el 70% de los días del año llueve), ya que se encuentra en la Zona de Confluencia Intertropical, ZCIT (Pachón, 2011). Esta situación favorece la formación de grandes masas de nubes y la presencia de fenómenos macroclimáticos como El Niño Oscilación del Sur (ENOS), que históricamente ha causado impactos de gran magnitud tanto en su fase cálida como en la fría (Poveda, 2004). Todos estos factores, combinados entre sí, tienden a favorecer los procesos de desestabilización de laderas, provocando desprendimientos de tierras, avalanchas e inundaciones que han afectado a la vida de la comunidad y la infraestructura de la ciudad. Así, éste puede ser considerado como el mayor problema ambiental en Manizales y un serio obstáculo para su desarrollo sostenible.

Las tragedias en las zonas andinas de ladera se presentan usualmente porque se favorece la generación de condiciones de inestabilidad del terreno, debido en gran parte a las fuertes pendientes de la zona, a la débil composición del suelo y a la dinámica sísmica de la región. Esta dinámica sísmica está determinada principalmente por la presencia de un sistema de fallas tectónicas que cruzan el país derivado de la subducción de la placa de Nazca en movimiento hacia el Este (al oeste de Manizales) bajo la Placa Sudamericana (al este de Manizales), y a la proximidad de varios volcanes que han cambiado el paisaje, entre los que se destacan el volcán Nevado del Ruiz, Cerro Bravo y Santa Isabel (Cardona et al, 2005).

Otras regiones andinas muestran un escenario similar donde, por ejemplo, las inundaciones son muy habituales (Sene, 2008; Lee y Ho, 2009 y Di Baldasasarre et al., 2010). Dadas estas características regionales y otras que se relacionan con aspectos antropogénicos como: el manejo inadecuado de las aguas superficiales, los conflictos con el uso del suelo, la mala planificación de áreas urbanas, las estructuras y obras civiles inadecuadas, y las malas prácticas de cultivo, hacen de Manizales un laboratorio natural, donde se observa una confluencia de problemas en un espacio geográfico muy pequeño. La academia, en este caso representado por la Universidad Nacional de Colombia - Sede Manizales, a través de su Instituto de Estudios Ambientales IDEA ha emprendido una serie de proyectos diseñados para proporcionar soluciones ambientales eficientes acordes con las necesidades del medio, incluyendo el seguimiento de variables climáticas en el área urbana asociadas a la prevención y atención de desastres y haciendo énfasis en la ocurrencia de deslizamientos desencadenados por la lluvia acumulada en zona (Mejía et al., 2005).

Un aspecto importante a resaltar es el compromiso que diferentes entidades e instituciones, públicas y privadas, quienes han realizado en conjunto con la Universidad Nacional de Colombia esfuerzos importantes con el fin de poner en práctica estrategias, programas y proyectos para la cuantificación de las variables hidrometeorológicas a través de una red de monitoreo en tiempo real, la cual viene funcionando satisfactoriamente desde el 2003 para la ciudad de Manizales (IDEA, 2004).

Basándose en los datos que arroja la red de monitoreo se han establecido indicadores de alerta temprana que conducen a la reducción de los desastres en las comunidades y en las infraestructuras cuando ocurren deslizamientos. Es de esta forma que en Manizales se ha implementado una Red de Estaciones Meteorológicas con transmisión digital de datos en tiempo real, proyecto que ha sido liderado y apoyado por el gobierno municipal a través de la OMPAD y, más recientemente, la Corporación Autónoma Regional de la Departamento de Caldas CORPOCALDAS, la Empresa Metropolitana de Aseo EMAS S.A. E.S.P., y la Compañía Hidroeléctrica de Caldas CHEC S.A. E.S.P.

Caracterización de la zona de estudio

La ciudad de Manizales, capital del Departamento de Caldas, está localizada en la región central del occidente colombiano, sobre la prolongación de la cordillera de los Andes. El relieve de la ciudad es especialmente montañoso, sus alrededores ofrecen gran diversidad climática, con paisajes de páramo y aguas termales, hasta paisajes de clima cálido, variada vegetación, ríos y quebradas. Una particularidad de Manizales es que posee 8 microclimas dentro de su zona urbana, la cual tiene una temperatura media de 18 ℃. En la Figura 1 se muestra la localización de la zona de estudio.

La lluvia media anual reportada entre 2003 y 2009 por la red meteorológica es de 2178 mm/año, la estación más antigua con registros desde 1956 reporta un valor medio de lluvia anual de 1890 mm/año hasta 2010. Se reporta una población de 414.389 habitantes según el censo del año 2005 y se han reportado 519 deslizamientos entre 2003 y 2009. Afectando a 4105 familias, de las cuales se han evacuado 1394 (Vélez et al, 2010).

Figura 1. Localización de la zona de estudio y de las estaciones de la red de monitoreo climático.

Para las estaciones de la red con mayor número de años se presenta en la Tabla 1 un resumen de la forma cómo llueve en la ciudad de Manizales. Se destaca el valor de lluvia anual en la estación El Carmen que, con relación al valor de precipitación en La Enea, presenta una diferencia del 55%, indicando una alta variabilidad espacial de la lluvia ya que la distancia entre las dos estaciones es de aproximadamente 11 km. Las mayores tasas de lluvia se localizan al oeste y al norte de la ciudad y las menores al sur y sureste, (Pachón, 2011).

ESTACIÓN	PPT (mm/año)	N° días lluvia	Horas de lluvia	N° lluvias/año
El Carmen	2948	255	417	909
Ingeominas	2736	257	376	923
Hospital Caldas	2548	256	363	1048
Yarumos	2404	263	369	925
Emas	2178	264	368	874
Bosques Norte	2168	267	437	1125
La Palma	2035	259	393	939
Recinto	1956	265	390	1064
Posgrados	1950	243	315	804
Ruta 30	1810	268	349	810
Aranjuez	1780	234	386	806
Enea	1620	259	296	831
PROMEDIO	**2178**	**258**	**372**	**922**

Tabla 1. Caracterización de la lluvia para las estaciones con mayor número de años.

Los eventos de lluvia extrema registrada por la red en la ciudad Manizales reportan para la ciudad una duración máxima de 12.6 horas ocurrida durante el evento del 14-11-2008, la lluvia más intensa en 5 minutos se registró el 18-11-2005 con un valor de 174 mm/hr, la lluvia diaria con mayor valor fue de 150 mm observada el 10-06-2005, el registro mensual máximo

fue de 677 mm para el mes de noviembre de 2011, el mayor registro anual se presentó en el año 2008 con un valor de 3920 mm, claramente influenciado por el fenómeno de La Niña (Pachón, 2011).

RED DE MONITOREO HIDROCLIMATOLÓGICO

El proyecto de monitoreo hidrometeorológico comenzó en Manizales hace unos diez años y actualmente cuenta con dieciséis (16) estaciones automáticas (ver Figura 2). Trece (13) de ellas registran las siguientes variables climáticas: temperatura del aire, humedad relativa, velocidad y dirección del viento, lluvia, radiación solar, y presión barométrica. Las tres (3) estaciones restantes se denominan hidrometeorológicas ya que registran la temperatura del aire, la precipitación, y el nivel y caudal del río. Información que es enviada a la Estación Receptora de forma inalámbrica a través de sistemas de comunicaciones en VHF. Todas las estaciones se encuentran estratégicamente ubicadas en el área de la ciudad y transmiten datos cada cinco (5) minutos a un centro de acopio ubicado en el Instituto IDEA, tal como se aprecia en la Figura 3.

Figura 2. Estaciones hidrometeorológicas que componen la red con su fecha de instalación.

La red de Estaciones Meteorológicas con transmisión digital de datos en tiempo real posee dos componentes tecnológicos: por un lado la tecnología importada, la cual básicamente corresponde a los equipos y sensores involucrados en el monitoreo de las variables atmosféricas y por otro lado la tecnología desarrollada, la cual corresponde a los equipos y software que permiten la integración en red y las comunicaciones en tiempo real. La instalación de las estaciones se realiza siguiendo, en la medida de lo posible, las recomendaciones de la Organización Mundial Meteorológica (WMO, 2008).

La tecnología importada permite el empleo de sensores calibrados para la medición de precipitación, radiación solar, velocidad y dirección del viento, humedad relativa, temperatura y presión barométrica, ya que la fabricación de estos elementos debe dejarse en manos de empresas especializadas, las cuales cuentan con laboratorios de calibración y sistemas patrón para garantizar la calidad de la medida.

Los datos están disponibles para el público y se encuentra información en tiempo real a través del portal web del Instituto de Estudios Ambientales IDEA, que está abierto a la comunidad tal como se aprecia en la Figura 3. (http://www.manizales.unal.edu.co/idea/index.php/estado-del-tiempo-manizales).

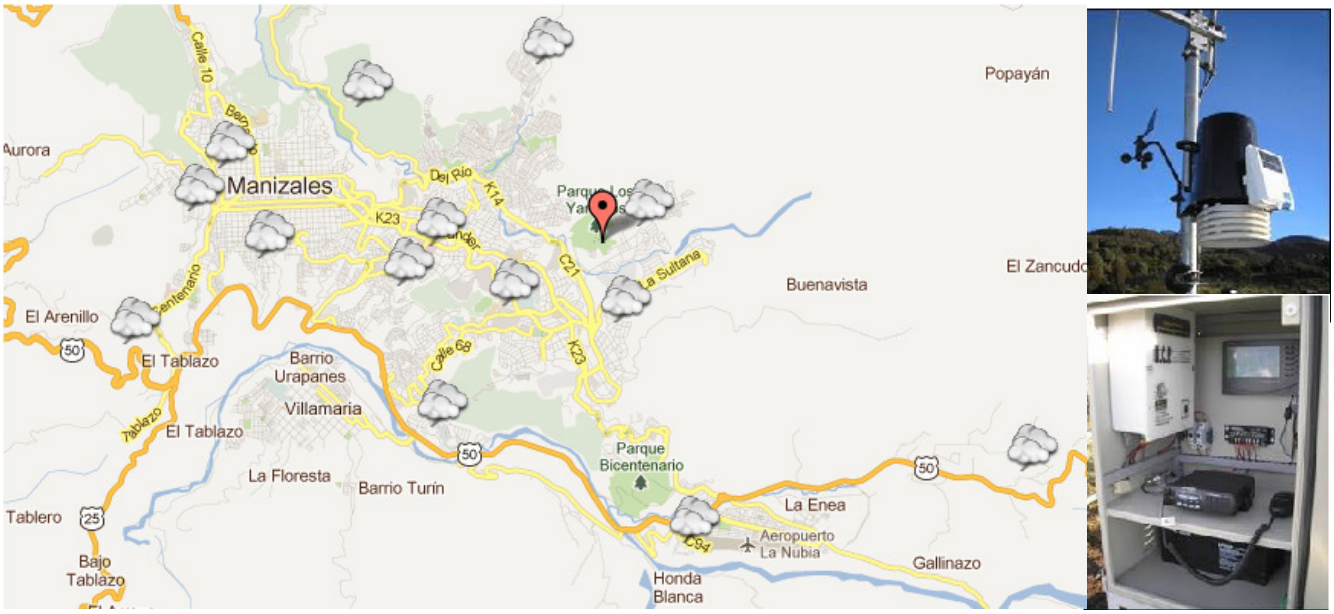

Figura 3. Localización de las estaciones en la ciudad de Manizales y componentes de una estación automática, a la derecha-arriba los sensores climáticos y a la derecha-abajo el sistema de comunicación remota.

El éxito de esta red en Manizales no es sólo debido a la determinación de la academia y las entidades públicas y privadas quienes proporcionan recursos para su mantenimiento, sino que se debe también al desarrollo tecnológico local, ya que se han desarrollado e integrado sistemas electrónicos y software que permiten las comunicaciones en red de las estaciones permitiendo la generación de información oportuna, que está disponible de forma inmediata y que alimenta las bases para la toma de decisiones en cuanto a la prevención y atención de desastres se refiere (A&V, 2002).

Dado que la región de Manizales se encuentra en una zona de alta montaña (a una elevación media de 2160 m.s.n.m.), donde las comunicaciones por línea de vista se ven afectadas por la topografía propia de la ciudad y las montañas de las zonas aledañas. Los sistemas de comunicación inalámbricos vía RF más comúnmente empleados no superan los 5 Watts de potencia, lo que exigiría condiciones de línea de vista por las distancias entre las estaciones y así alcanzar buenas comunicaciones para transmisión de datos, y esta condición no se posee en la ciudad. Por tal motivo, se desarrolló una tecnología de bajo costo que permite a través de un radio base en VHF convencional y una antena direccional tipo Yagui, la comunicación del tipo digital de cada una de las estaciones, lo que permite realizar transmisiones con potencias superiores a los 25 Watts, dando viabilidad a las comunicaciones de red en la región (A&V, 2002).

Los equipos de comunicaciones de las Estaciones Meteorológicas, poseen un identificador ID único que permite ser consultado por “polling” desde la Estación Central. Las estaciones se reportan al sistema central cada 5 minutos y la información se guarda en las bases de datos del servidor, lo que corresponde a 288 lecturas de cada una de las variables durante

un día, intervalo suficiente para lograr una cobertura temporal satisfactoria de la serie de datos.

Tomando como entrada los datos de precipitación obtenidos de las estaciones, se utilizó un indicador de alerta temprana, inicialmente propuesto para una ladera de la ciudad de Manizales por Terlien (1996), cuya conclusión principal indica un aumento en la probabilidad de ocurrencia de un deslizamiento de tierra cuando la lluvia acumulada en los últimos 25 años días (A25) se supera en 200 mm (Westen y Terlien, 1996 y Terlien et al, 1995). Este indicador se ajustó para la OMPAD en una escala para determinar tres niveles de alerta en la ciudad siguiendo la estrategia del semáforo:

- Alerta Amarilla: 200 mm<A25<300 mm:
- Alerta Naranja: 300mm<A25<400 mm:
- Alerta roja: A25>400 mm:

Con el uso del indicador A25 y el conocimiento sobre los sitios susceptibles a los deslizamientos, el Comité Local de Emergencias a través de la OMPAD puede tomar las decisiones para declarar el nivel de alerta apropiado. Esta declaratoria sirve para que las entidades municipales realicen la evacuación de viviendas cuando sea necesario. En la Figura 4 se presentan un mapa de alerta empleando el método de interpolación simple, que sirve de herramienta a quienes toman las decisiones.

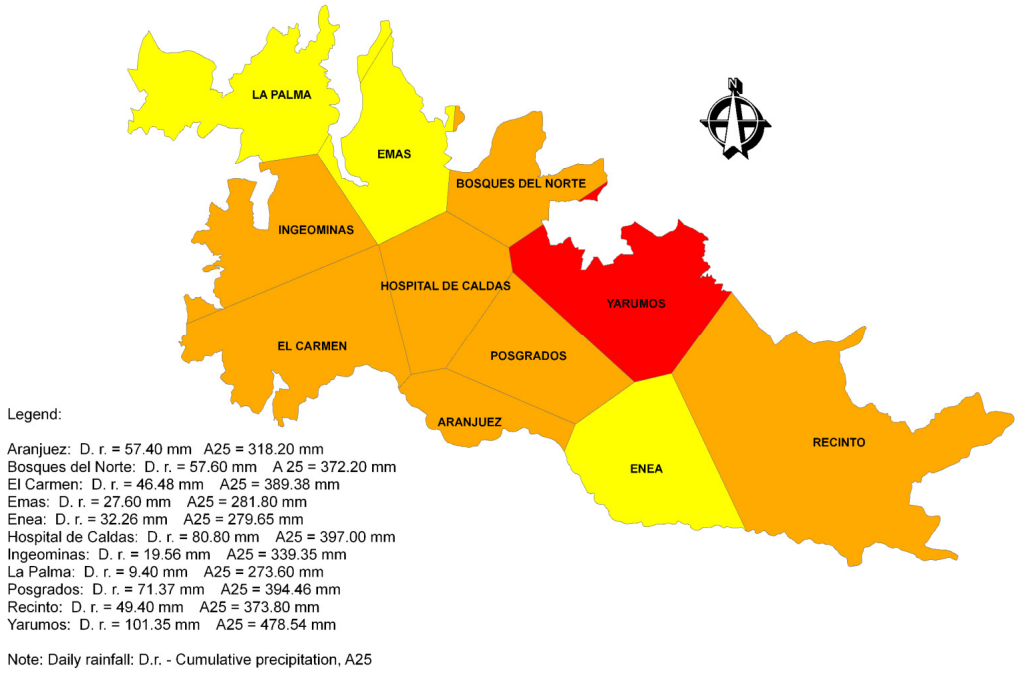
LA PALMA
EMAS
BOSQUES DEL NORTE
INGEOMINAS
HOSPITAL DE CALDAS
YARUMOS
EL CARMEN
POSGRADOS
ARANJUEZ
ENEA
RECINTO
Legend:
Aranjuez: D. r. = 57.40 mm A25 = 318.20 mm
Bosques del Norte: D. r. = 57.60 mm A 25 = 372.20 mm
El Carmen: D. r. = 46.48 mm A25 = 389.38 mm
Emas: D. r. = 27.60 mm A25 = 281.80 mm
Enea: D. r. = 32.26 mm A25 = 279.65 mm
Hospital de Caldas: D. r. = 80.80 mm A25 = 397.00 mm
Ingeominas: D. r. = 19.56 mm A25 = 339.35 mm
La Palma: D. r. = 9.40 mm A25 = 273.60 mm
Posgrados: D. r. = 71.37 mm A25 = 394.46 mm
Recinto: D. r. = 49.40 mm A25 = 373.80 mm
Yarumos: D. r. = 101.35 mm A25 = 478.54 mm
Note: Daily rainfall: D.r. - Cumulative precipitation, A25

Figura 4. Mapa con las alertas propuestas por el sistema según el indicador A25.

El Programa Internacional de Deslizamientos de tierra fue lanzado en 2002 por Naciones Unidad para apoyar la Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres (ISRD, por sus siglas en inglés) y los Sistemas Alerta Temprana, que son la base del apoyo de la OMPAD a la red de monitoreo hidroclimatológico.

RELACIÓN LLUVIA-DESLIZAMIENTO

Se dispone del registro de la fecha de ocurrencia de 122 deslizamientos y la lluvia registrada en la ciudad, en la Figura 5 se presenta el valor del indicador A25 para la estación Agronomía que es la que tiene mayor información.

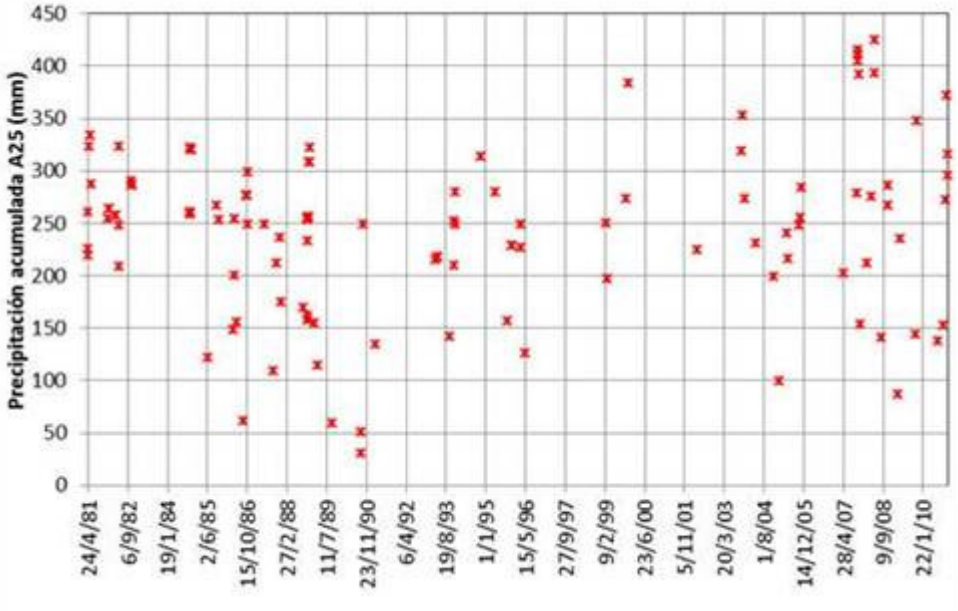

Figura 5. Relación de deslizamientos ocurridos en la ciudad de Manizales desde 1981 al 2010.

En la Tabla 2 se muestran los principales estadísticos de las series de lluvia acumulada antecedente.

ESTADÍSTICOS	A1	A2	A10	A15	A20	A25
PROMEDIO	14,8	31,2	122,9	165,0	203,3	243,8
MÍNIMO	0,0	0,0	5,6	15,6	28,2	30,3
PRIMER CUARTIL	0,5	7,2	73,8	116,5	154,5	208,3
SEGUNDO CUARTIL	6,4	21,9	116,5	166,5	211,8	253,8
TERCER CUARTIL	19,4	38,4	179,3	212,1	247,4	283,7
MÁXIMO	134,0	166,0	272,1	315,3	367,5	425,2
DESV. TIPICA	22,6	33,9	62,1	64,1	70,7	79,6
COEF. VARIAC.	1,53	1,09	0,51	0,39	0,35	0,33
COEF. ASIM	3,15	1,93	0,17	-0,14	-0,17	-0,21

Tabla 2. Estadísticos principales de las series de lluvia acumulada antecedente.

A partir de la información suministrada y agrupando los eventos de deslizamiento en valores de lluvia antecedente desde el mismo día (A1) y desde 2 días anteriores (A2) hasta los 25 días anteriores (A25) se obtienen los resultados mostrados en la Tabla 3. En la cual se aprecia que para el indicador A25 tienen sentido los umbrales propuestos por la OMPAD, en donde para un 96% de los deslizamiento se registraron lluvias menores a 400 mm, un 23% de los deslizamiento se produce con lluvias menores a los 200 mm y un 81% de los deslizamientos ya reportan valores de lluvia acumulado A25 menor a 300 mm.

N° Deslizamiento reportados	A1	%	A2	%	A10	%	A15	%	A20	%	A25	%
PPT menores a 100 mm	119	98	115	95	46	38	22	18	9	7	6	5
PPT menores a 200 mm	121	100	121	100	109	90	83	69	54	45	28	23
PPT menores a 300 mm	121	100	121	100	121	100	119	98	112	93	98	81
PPT menores a 400 mm	121	100	121	100	121	100	121	100	121	100	116	96
PPT menores a 500 mm	121	100	121	100	121	100	121	100	121	100	121	100

Tabla 3. Relación lluvia antecedente A2, A10, A15, A20 y A25 con la ocurrencia de deslizamientos.

CONCLUSIONES

La relación entre las lluvias y los deslizamientos ha permitido poner en práctica el Sistema de Alerta mediante la estrategia del semáforo, para suministrar herramientas adicionales al Comité de Emergencias Locales de la OMPAD para emitir las alertas por deslizamientos. La OMPAD ha reportado una reducción de las muertes y las pérdidas desde que la red está en funcionamiento.

Un análisis de los resultados obtenidos ha permitido a las entidades locales (Agencias Ambientales y Municipales) centrar la inversión en la gestión del riesgo y en la estabilización estructural y no estructural de las zonas más vulnerables.

Las variables hidrometeorológicas almacenadas por la red se procesan y se publican en la página web del Instituto de Estudios Ambientales, IDEA, de la Universidad Nacional de Colombia - Sede Manizales, rompiendo el paradigma de la privacidad de la información y facilitando el acceso a la información a cualquier persona en el mundo.

Al interior de la Universidad Nacional de Colombia - Sede Manizales, hace varios años se conformó un grupo interdisciplinario de investigación y desarrollo, que buscaba a través de sensores y equipos electrónicos monitorear sistemas hidráulicos y ambientales. Estas actividades permitieron de manera activa la participación de estudiantes de la universidad que con el tiempo y una vez graduados, constituyeron empresa privada, la cual ha seguido trabajando en sistemas de comunicaciones y de monitoreo ambiental, empresas que hoy día y junto con la Universidad desarrollan proyectos conjuntos, similares a los presentados en este documento.

La red hidroclimatológica es una fuente constante de datos que está disponible para ser utilizad en la investigación, por lo que ha servido para la realización de tesis, monografías y estudios puntuales del comportamiento hídrico y ambiental de la ciudad. En el mediano plazo se dispondrá de una base de datos sólida para la caracterización de la dinámica detallada de las lluvias y deslizamientos en la ciudad.

Gracias a la alianza de cooperación entre la Academia, el Estado y la Empresa se logra una red de monitoreo hidroclimátológico que contribuye a la mitigación del riesgo y las alertas tempranas en ciudades andinas como Manizales, a una mejor calidad de vida y se ha convertido en un aporte significativo para la comunidad, lo que la convierte en un excelente ejemplo que merece ser replicado en otras zonas de los Andes.

DESARROLLOS FUTUROS

El trabajo que se realiza con el monitoreo hidrometeorológico en Manizales abre posibilidades a la investigación a un sinnúmero de estudios multidisciplinarios, que pueden

llegar a poner a punto detalles para la aplicación de nuevos umbrales de alerta temprana, así como el análisis de elementos detonantes de deslizamiento para la ciudad. Se ha de continuar relacionando las mediciones directas de la humedad del suelo y los deslizamientos con precipitación antecedente hasta encontrar la relación adecuada entre estas variables.

Debido a la alta densidad de información obtenida por la red y teniendo en cuenta que el registro histórico de cada estación crece día a día, el proceso y el análisis de datos mediante técnicas de minería de datos se debe realizar continuamente.

El estudio de las relaciones entre las precipitaciones, sus períodos de acumulación, intensidad y la magnitud de la lluvia y su correlación con los deslizamientos de tierra en la ciudad debe llevarse a cabo de forma permanente para mantener actualizada la base de datos. Del mismo modo, se deben asociar los deslizamientos y avalanchas con la pérdida de vidas y de propiedades, con las evacuaciones para tener en cuenta el gran impacto socio-económico y ambiental en la comunidad.

El desarrollo de software para la generación de curvas de Intensidad - Duración - Frecuencia (IDF) actualizadas y regionalizadas para la ciudad de Manizales, en función del área de influencia de cada estación, se debe realizar para mejorar el diseño de las obras civiles.

Se debe proponer un sistema de telemetría para el monitoreo en tiempo real en laderas que sean susceptibles a deslizamientos en la ciudad de Manizales. Asimismo, se debe actualizar el estudio que relacione el tipo de deslizamientos en suelos saturados y que son provocados por terremotos de alta frecuencia y de baja intensidad (Huang et al., 2009).

El desarrollo de la investigación sobre los modelos climáticos para Manizales se debe iniciar, tratando de incorporar la información del IDEA y de cubrir la mesoescala y la escala de trabajo de las estaciones de la red con fines de adaptarlos hacia Sistemas de Alerta Temprana y el pronóstico de inundaciones.

Garantizar la comunicación pública eficiente y eficaz por parte de la OMPAD, con el fin de informar a las comunidades acerca de las posibles amenazas. La comunicación debe basarse en los informes de precipitaciones y de alerta temprana declarados por la OMPAD, con fines de mejorar la gestión del riesgo al deslizamiento.

Fortalecer los estudios sobre las tendencias espacio temporales de las variables hidrometeorológicas permitirá tener en cuenta consideraciones sobre los posibles escenarios del cambio climático y la variación de la precipitación con la orografía, entre muchos otros aspectos. Además es conveniente hacer uso de las herramientas estadísticas para el análisis de los fenómenos extremos.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se realizó en el marco del “Programa de fortalecimiento de capacidades conjuntas para el procesamiento y análisis de información ambiental (código: 12677)”, financiado por la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad Nacional de Colombia a través de la Convocatoria Nacional de Investigación y de Creación Artística 2010 - 2012. Se agradece el suministro de información a CORPOCALDAS, la OMPAD y el IDEA de la Universidad Nacional de Colombia – Sede Manizales.

REFERENCIAS

A&V. 2002. Manual de Usuario Red de Estaciones Meteorológicas en el Municipio de Manizales. (User´s Manual of the meteorological network at Manizales). Report for the Mayor's Office and the National University of Colombia, Manizales, Colombia.

Cardona O.D., Hurtado J.E., Duque G., Moreno A., Chardon A.C., Velásquez L.S., Prieto S.D. 2005. System of indicators for disaster risk management: program for Latin America and the Caribbean: main technical report. IDB/IDEA Program on Indicators for Disaster Risk Management, Universidad Nacional de Colombia, Manizales, http://www.manizales.unal.edu.co/

Carreño, M.L., Cardona, O.D. & Barbat A.H. 2007. A disaster risk management performance index. *Nat. Hazards*. Vol 41(1), 1-20.

Di Baldassarre, G, A. Montanari, H. Lins, D. Koutsoyiannis, L. Brandimarte and G. Bloschl, "Flood fatalities in Africa: From diagnosis to mitigation, " Geophys Res Lett, 37, L22402, 2010.

Delrieu, G, I. Braud, A. Berne, M. Borga, B. Boudevillain, F. Fabry, J. Freer, E. Gaume, E. Nakakita and A. Seed, "Weather radar and hydrology, " Adv in Water Resour, 32(7), 969, 2009.

Goldshtein, O, H. Messer and A. Zinevich, "Rain Rate Estimation Using Measurements From Commercial Telecommunications, " IEEE Trans Signal Process, 57(4), 1616, 2009.

Huang C.C., Yu Y.J. Hwu L.K. and Lee J.L. 2009. Internal soil moisture and piezometric responses to rainfall-induced shallow slope failures. *J. of Hydrology*. Vol 370, 39-51.

IDEA, 2004. Boletin meteorológico. Instituto de Estudios Ambientales IDEA. Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. Publicación en internet. http://idea.manizales.unal.edu.co/index.php/boletin-meteorologico

Lee K.T. and Ho Y.J. 2009. Prediction of landslide occurrence based on slope-instability analysis. *J. of Hydrology*. 375, 489-497.

Mejía, F., Chardon, A.C., Londoño, J.P., Estrada, J.H. 2005*. Zonificación de riesgos por deslizamientos en áreas urbanas andinas.* (Landslide risk zonification in the Andes urban areas) Report for the National University of Colombia, Manizales, Colombia..

Pachón, A. 2011. Distribución de la lluvia en Manizales *Boletín Ambiental*. N° 93. IDEA, Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. 7p.

Poveda, G. 2004. La hidroclimatología de Colombia. Una síntesis desde la decada Interdecanal hasta la escala diurna. Rev. Acad. Colomb.Ciencia 28 (107) , 201-222.

Sene, K. 2008. Flood Warning Forecasting and Emergency Response. Springer. United Kingdom. Chapters 9-11.

Terlien, M.T.J., Van Asch, T.W.J. and Van Westen, C.J. 1995. Deterministic modeling in GIS-based landslide hazard assessment. In: *Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards.* A. Carrara and F. Guzzetti (eds.) Kluwer Academic Publishers, p 57-77.

Terlien, M.T.J. 1996. *Modelling Spatial And Temporal Variations In Rainfall-Triggered Landslides.* Ph.D. Thesis. ITC. Netherlands. Publication number 32.

Vélez, J. J., Mejía, F. Pachón A. y Vargas, 2010. D. An Operative Warning System of Rainfall-Triggered Landslides at Manizales, Colombia. IWA World Water Congress and Exhibition. Montreal, Canadá. Septiembre 19-24.

Westen, C.J.V. y M.J.T. Terlien, “An approach towards deterministic landslide hazard analysis in GIS. A case study from Manizales (Colombia), ” Earth Surf. Process. Landforms, 21: 853, 1996.

Witte, H. 1995. Distribución estacional y altitudinal de la precipitación, temperatura y la humedad en el transecto Parque los Nevados. Análisis Geográfico N°25. IGAC. Bogotá

WMO. 1983. Guide to climatological practices. WMO-No. 100. World Meteorological Organization. Geneve. Switzerland., 26 p.